SVILUPPO DI UN SISTEMA DI ACCUMULO A SUPERCONDUTTORE (SMES) DA 500 KJ / 200 KW

A. Morandi, M. Breschi, M. Fabbri, G. Grandi,
M. Hammami, U. Melaccio, P. L. Ribani, A. Viatkin

University of Bologna, Dept. of Electric, Electronic, and Information Engineering

Uno SMES (*Superconduting Magnetic Energy Storage*) è un sistema di accumulo costituito da un avvolgimento superconduttore e da un insieme di convertitori statici per la gestione dei flussi di potenza. Gli apparati necessari per il raffreddamento dell' avvolgimento alle basse temperature che ne garantiscono lo stato superconduttivo costituiscono parte integrante del sistema SMES. L'energia stoccata è associata al campo magnetico prodotto dall' avvolgimento, che dal circuito esterno è visto come un'induttanza di elevato valore. Lo SMES offre caratteristiche complementari rispetto ai sistemi di accumulo a batterie. In particolare i vantaggi dello SMES sono il tempo di risposta immediato, l'elevata potenza di carica e scarica (sistema "*power intensive*"), la possibilità di sostenere un numero di cicli praticamente illimitato, e l'elevata efficienza del ciclo (*round trip efficiency*). Tale sistema consente di ridurre drasticamente le problematiche di interfacciamento con la rete elettrica di utenti sensibili e/o disturbanti (ad esempio processi industriali o *data centers*), sorattutto se utilizzato in combinazione con sistemi dotati di elevata capacità di accumulo (*energy intensive*) come ad esempio la tecnologia elettrochimica.

La tecnologia SMES è stata ampiamente dimostrata nell'arco degli ultimi decenni attraverso l'impiego di superconduttori a bassa temperatura critica raffreddati mediante bagno di elio liquido (4.2 K). Diversi sistemi SMES, con taglia fino a 10 MW, sono stati realizzati e installati in rete per la protezione di utenti critici e sono tuttora in esercizio. Significativi progressi nel campo della tecnologia SMES, in grado di aumentarne l'attrattività sia tecnica che economica, possono tuttavia essere ancora raggiunti attraverso l'impiego di moderni superconduttori ad alta temperatura (YBCO *coated conductors* e MgB2) [1]-[2]. Tali superconduttori offrono prestazioni soddisfacenti in un *range* di temperature elevato (20-50 K) e sono pertanto compatibili con tecnologie di raffreddamento "a secco", che non utilizzano cioè liquidi criogenici. In questo contesto, un progetto nazionale di ricerca triennale, denominato DRYSMES-4GRID, è stato recentemente ammesso al finanziamento da parte del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE). L'obbiettivo del progetto è dimostrare la fattibilità tecnica e la competitività economica della tecnologia SMES basata sul superconduttore MgB2 senza l'uso di liquidi criogenici [3]. Le attività del progetto si concretizzeranno nella realizzazione e nel collaudo, all'interno di una micro-rete in bassa tensione, di un dimostratore da 500 kJ / 200 kW. Seppure ridotta, la taglia del dimostratore è in grado di far emergere gli aspetti critici necessari per lo sviluppo della tecnologia. Oltre all'Università di Bologna. partecipano la progetto ASG Superconductors SpA – Genova (che svolge il ruolo di coordinatore), RSE SpA - Milano, ICAS S.C.r.l. (Italian Consortium for Applied Superconductivity), Roma e CNR/SPIN – Genova. Il progetto ha durata triennale e terminerà nel Dicembre 2020. Attualmente sono in fase di completamento il progetto dell'avvolgimento in MgB2 e del relativo sistema di raffreddamento e la definizione del sistema elettronico di potenza per l'interfacciamento dello SMES/rete e delle relative logiche di controllo. Nel seguito se ne descrivono le principali caratteristiche.

Sistema elettronico di potenza per l'interfacciamento SMES/rete

Lo schema del sistema elettronico di potenza per l'interfacciamento SMES/rete è mostrato in Fig. 1. L'inverter eroga o assorbe una potenza controllata verso la rete, operante alla tensione di 400 Vrms. La tensione del lato AC dell'inverter è di 250 Vrms. Il bus DC opera alla tensione di 750 V. Tale tensione è controllata dal chopper in corrente a due quadranti collegato allo SMES. Nel caso di guasto di rete, l'intero sistema viene disconnesso tramite l'interruttore statico determinando così il funzionamento in isola. In questa fase l'inverter è controllato in modo da alimentare i carichi a tensione costante e il sistema funziona come UPS. La definizione dettagliata degli algoritmi di controllo da utilizzare durante i funzionamento shunt e in isola, il passaggio e la logica di passaggio da una condizione all'altra sono in corso di definizione. È in corso anche la selezione dell'hardware adatto per l'implementazione degli algoritmi individuati.

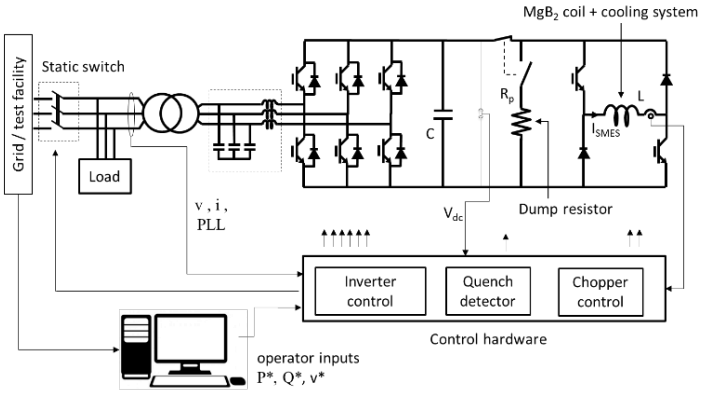

Fig. 1. Schema del sistema di condizionamento della potenza

Avvolgimento in MgB_2 e sistema di raffreddamento

L'avvolgimento superconduttore, di forma solenoidale, è realizzato mediante nastro in MgB2 a sezione rettangolare. E' formato da10 strati di 522 spire ciascuno. L'induttanza è di 6.8 H. La corrente di esercizio varia da 467 A (carica massima) a 326 A. La mappa di campo dell'avvolgimento relativa alla corrente massima è riportata in Fig. 2. Per la definizione dell'avvolgimento si è innanzitutto effettuata una valutazione elettromagnetica, che ha portato alla scelta dei parametri geometrici e operativi in grado di soddisfare le specifiche di progetto. Si è inoltre valutata la distribuzione di tensione dovuta alla commutazione del chopper al fine di dimensionare l'isolamento elettrico. La successiva analisi meccanica ha permesso di definire gli elementi di supporto in grado di contenere entro limiti accettabili stress e deformazioni dovuti alla sollecitazione di Lorentz e alla contrazione termica. Infine, sulla base dei carichi termici stimati, si sono scelti i *crycooleers* e si effettuata a verifica della distribuzione di temperatura interna all'avvolgimento.

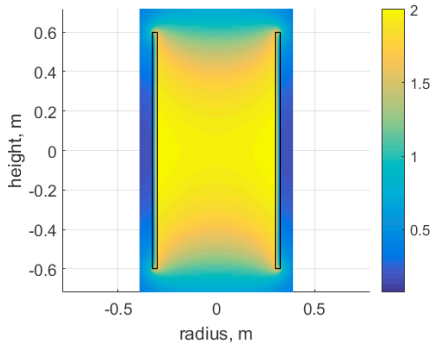

Fig. 2. Distribuzione di campo prodotto dall'avvolgimento alla corrente massima

[1] A. Morandi, M. Fabbri, B. Gholizad, F. Grilli, F. Sirois, V.M.R. Zermeño, "Design and comparison of a 1-MW/5-s HTS SMES with toroidal and solenoidal geometry," IEEE Trans. on Appl. Supercond. 26 (4), pp. 1-6, 2016.

[2] A. Morandi, A. Fiorillo, S. Pullano, P.L. Ribani, "Development of a Small Cryogen-Free MgB 2 Test Coil for SMES Application," IEEE Trans. on Appl. Supercond. 27 (4), pp. 1-4, 2017.

[3] A. Morandi et al., "The DRYSMES4GRID project: development of a 500 kJ/200 kW cryogen-free cooled SMES demonstrator based on MgB2," IEEE Trans. on Appl. Supercond. 28 (4), pp. 1-5, 2018.